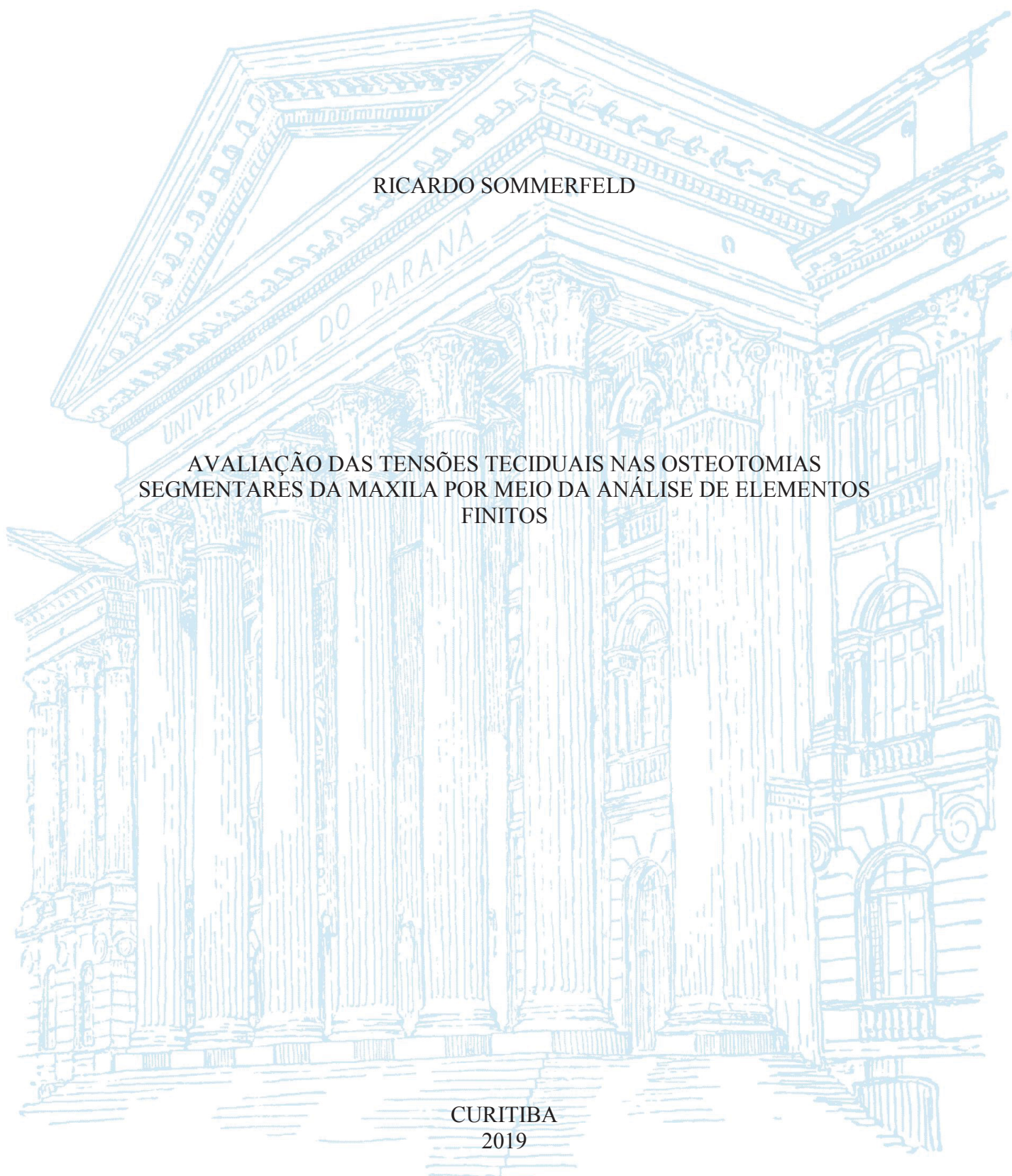


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RICARDO SOMMERFELD

AVALIAÇÃO DAS TENSÕES TECIDUAIS NAS OSTEOTOMIAS  
SEGMENTARES DA MAXILA POR MEIO DA ANÁLISE DE ELEMENTOS  
FINITOS

CURITIBA  
2019



RICARDO SOMMERFELD

AVALIAÇÃO DAS TENSÕES TECIDUAIS NAS OSTEOTOMIAS SEGMENTARES  
DA MAXILA POR MEIO DA ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS

Dissertação apresentada como requisito parcial à  
obtenção do título de Mestre, Programa de Pós-  
Graduação em Odontologia, Curso de  
Odontologia, Setor de Ciências da Saúde,  
Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Delson João da Costa

CURITIBA  
2019

Sommerfeld, Ricardo

Avaliação das tensões e deslocamento tecidual nas osteotomias segmentares da maxila por meio da análise de elementos finitos [recurso eletrônico] / Ricardo Sommerfeld – Curitiba, 2019.

Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Odontologia, Setor de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Paraná, 2019.

Orientador: Professor Dr. Delson João da Costa

1. Osteotomia maxilar. 2. Osteotomia segmentar. 3. Osteotomia interdental. 4. Deslocamento ósseo. 5. Tensão na fibromucosa. 6. Elementos finitos. I. Costa, Delson João. II. Universidade Federal do Paraná. III. Título.

CDD 617.605



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR DE CIÊNCIAS DA SAÚDE  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ODONTOLOGIA -  
40001016005P8

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ODONTOLOGIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **RICARDO SOMMERFELD** intitulada: **AValiação DAS TENSÕES TECIDUAIS NAS OSTEOTOMIAS SEGMENTARES DA MAXILA POR MEIO DA ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS**, sob orientação do Prof. Dr. DELSON JOÃO DA COSTA, que após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua **APROVAÇÃO** no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 18 de Julho de 2019.

DELSON JOÃO DA COSTA

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

NELSON LUIS BARBOSA REBELLO

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

RAFAELA SCARIOT DE MORAES

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

## RESUMO

A segmentação da maxila associada a osteotomia de Le Fort I é uma técnica cirúrgica utilizada para correção de discrepâncias transversais de maxila. Ela possibilita corrigir a assimetria intra-arco, podendo manipular os segmentos ósseos separadamente, em um único ato cirúrgico. Mesmo com os avanços ao longo dos anos, ainda existem complicações decorrentes da intervenção cirúrgica, como a necrose óssea, necrose pulpar e defeitos periodontais. Dentre os principais problemas relacionados as segmentações maxilares estão a manutenção do aporte sanguíneo e a tensão excessiva da fibromucosa palatina após o procedimento cirúrgico. O método de elementos finitos (MEF) é uma ferramenta apropriada para o uso na Cirurgia e Traumatologia Buco-Maxilo-Faciais, pois é capaz de determinar a medida do estresse, deformação e deslocamento no complexo ósseo e fibromucosa, após diversas maneiras de aplicação de carga. Sendo assim o objetivo desse estudo foi analisar o efeito das forças aplicadas no ato operatório sobre o deslocamento ósseo e a tensão na fibromucosa em diferentes desenhos de segmentação de maxila, através da análise de elementos finitos. Um crânio tridimensional foi gerado a partir de imagens tomográficas e realizado simulações cirúrgicas. Foram trabalhados com 04 modelos, sendo dois deles dividindo a maxila em três segmentos (M1 e M2) e dois deles dividindo a maxila em quatro segmentos (M3 e M4). A diferença entre M1 e M2 e entre o M3 e M4 está na localização das osteotomias interdentárias. Nos modelos M1 e M3, as osteotomias interdentárias foram realizadas entre os incisivos laterais e os caninos superiores. Já no M2 e M4 as osteotomias foram realizadas entre os caninos e primeiros pré-molares superiores. Em todos os modelos, foi aplicada uma força de 100 newtons (N) na face palatina dos dentes 16 e 26 simulando o afastamento digital e o suporte foi inserido na face lateral do osso zigomático direito e esquerdo. A partir disso foram mensurados o deslocamento e a tensão dos segmentos. Foi possível observar que, comparando a técnica entre 3 e 4 segmentos com a mesma osteotomia interdental, isto é, M1 com M3 e M2 com M4, houve um maior deslocamento ósseo e menor tensão na fibromucosa na técnica com 3 segmentos. Quando comparamos a mesma quantidade de segmentos com regiões distintas de osteotomia interdental, ou seja, M1 com M2 e M3 com M4 foi possível verificar que houve uma menor tensão na fibromucosa e um maior deslocamento ósseo nos cortes entre incisivo lateral e canino, comparados a osteotomia entre canino e primeiro pré-molar. Portanto a técnica M1 mostrou-se com menor resistência possibilitando maior deslocamento e consequentemente gerando menos tensão na fibromucosa.

Palavras-chave: Osteotomia segmentar. Osteotomia interdental. Deslocamento ósseo. Tensão na fibromucosa. Elementos finitos.



## ABSTRACT

The segmentation of the maxilla associated with Le Fort I osteotomy is a surgical technique used to correct transverse maxillary discrepancies in adults. It allows correcting intra-arch asymmetry, and can manipulate the bone segments separately, in a single surgical act. Even with advances over the years, there are still complications resulting from surgical intervention, such as bone necrosis, pulpal necrosis and periodontal defects. Among the main problems related to maxillary segmentations are the maintenance of the blood supply and the excessive tension of the fibrinous palatine after the surgical procedure. The finite element method (MEF) is an appropriate tool for use in Buco-Maxillofacial Surgery and Traumatology, since it is able to determine the extent of stress, deformation and displacement in the bone and fibromucosa complex, after several ways of applying charge. Thus, the objective of this study was to analyze the effect of forces applied in the operative procedure on bone displacement and stress in the fibromucosa in different designs of maxilla segmentation, through the analysis of finite elements. A three-dimensional skull was generated from tomographic images of a skull and performed surgical simulations. Four models were studied, two of them dividing the maxilla into three segments (M1 and M2) and two of them dividing the maxilla into four segments (M3 and M4). The difference between M1 and M2 and between M3 and M4 lies in the location of interdental osteotomies. In the M1 and M3 models, the interdental osteotomies were performed between the lateral incisors and the upper canines. In M2 and M4, the osteotomies were performed between the canines and the first maxillary premolars. In all models, a force of 100 newtons (N) was applied to the palatal face of the teeth 16 and 26 simulating the digital spacing and the support was inserted in the lateral aspect of the zygomatic bone, referring to a static face. From this, the displacement and tension of the segments were measured. It was possible to observe that, comparing the technique between 3 and 4 segments with the same interdental osteotomy, that is, M1 with M3 and M2 with M4, there was a greater bone displacement and lower tension in the fibromucosa in the technique with 3 segments. When comparing the same number of segments with different regions of interdental osteotomy, that is, M1 with M2 and M3 with M4, it was possible to verify that there was a lower tension in the fibromucosa and a greater bone displacement in the cuts between lateral incisor and canine, compared to osteotomy between canine and first premolar. Therefore, the 3-segment segmental technique with interdental osteotomy being performed between lateral and canine incisors (M1) was shown to have less resistance, allowing greater displacement and consequently generating less tension in the fibromucosa.

**Keywords:** Segmental osteotomy. Interdental osteotomy. Bone displacement. Fibromucosa strain. Finite elements.

**SUMÁRIO**

**INTRODUÇÃO ..... 08**

**ARTIGO..... 11**

    Página título ..... 11

    Resumo .....12

    Introdução ..... 13

    Materiais e Métodos ..... 14

    Resultados ..... 18

    Discussão..... 22

**CONCLUSÃO ..... 25**

**REFERÊNCIAS ..... 26**

## INTRODUÇÃO

A segmentação da maxila associada à osteotomia de Le Fort I é uma técnica cirúrgica utilizada para correção de discrepâncias transversais de maxila em adultos (STARCH-JENSEN, BLAEHR, 2016). Ela é indicada em casos de mordida aberta anterior, deficiência transversal da maxila, mordida cruzada e deformidades mais severas, na qual a intervenção segmentar possibilita corrigir a assimetria intra-arco, podendo manipular os segmentos separadamente, em um único ato cirúrgico (KAHNBERG, HAGBERG, 2007), obtendo assim, um bom resultado no controle da curva de Spee e de Wilson (ESTEVEES et al., 2016).

Cohn-Stock, em 1921, foi o primeiro a descrever a cirurgia segmentar da maxila, separando a mesma em um ou múltiplos segmentos (KASHANI, RASMUSSEN, 2016). Sabe-se que para que o suprimento sanguíneo dos ossos maxilares seja adequado, o número de osteotomias não deve exceder três ou quatro segmentos, pois os riscos aumentam quanto maior o número de fragmentos (CORTESE, 2014).

Existem diversos desenhos de osteotomias segmentares. Dois fatores relacionados ao desenho da osteotomia segmentar devem ser levados em consideração na escolha da melhor técnica: a localização da osteotomia interdentária e o desenho da osteotomia no palato. A osteotomia interdental para separação da maxila em segmentos pode ser realizada entre incisivos laterais e caninos, caninos e pré-molares ou entre incisivos centrais (ESTEVEES et al., 2016). A segmentação entre incisivos laterais e caninos tem uma maior preferência, pois o tratamento ortodôntico prévio é mais rápido, já que nos locais planejados para a osteotomia, as raízes são naturalmente divergentes entre si. As vantagens de realizar as osteotomias nesse local é de prevenir sequelas periodontais e a capacidade de influenciar positivamente a inclinação do incisivo, sem afetar a altura vertical da face (POSNICK, 2013). A secção entre caninos e primeiros pré-molares raramente é planejado, pois é tecnicamente mais demorada no tratamento ortodôntico, e é mais propenso a ter lesões dentárias e defeitos periodontais. Diversos cirurgiões preferem realizar as segmentações entre incisivo lateral e canino, pois a visão cirúrgica e a facilidade de acesso são melhor nesse tipo de osteotomia, além de que o osso alveolar é mais fino nessa região. Além disso o segmento anterior que contém os quatro incisivos superiores, forma uma linha quase reta, permitindo uma melhor inclinação cirúrgica do segmento (NAINI, GILL, 2017).

No que se refere ao desenho da osteotomia no palato, dois são os principais desenhos: formato de Y e formato de H. Na segmentação em forma de Y, ou seja, em três segmentos, é realizada uma osteotomia mediana sagital, e a extremidade anterior é estendida com as osteotomias interdentais verticais. Já no formato em H, as osteotomias são feitas em ambos os lados da linha média, paralela à sutura palatina mediana, com um corte radial para atender as osteotomias interdentais (KAHNBERG, HAGBERG, 2007 e HO et al., 2011). A técnica em Y de 3 segmentos, quando comparada a técnica em H, tem a vantagem de apresentar uma menor chance



de necrose óssea por ter menos fragmentos, e a desvantagem de possuir um menor grau de mobilização. Já o formato em H, teoricamente, distribui a tensão em mais regiões melhorando a distribuição do estresse, e tem a desvantagem de resultar em mais segmentos, o que torna mais difícil o manejo durante a cirurgia e um aumento da probabilidade de necrose óssea (CORTESE, 2014).

Mesmo com os avanços ao longo dos anos, ainda existem complicações decorrentes da intervenção cirúrgica da segmentação da maxila, como a necrose óssea, comunicação buconasal e bucossinusal, necrose pulpar e defeitos periodontais (ESTEVES et al., 2016). Dentre os principais problemas relacionados as segmentações maxilares está a manutenção do aporte sanguíneo e a tensão excessiva da fibromucosa palatina no movimento transversal. (CORTESE, 2014).

O método de elementos finitos (MEF), teve seu início no século XVIII, utilizando cálculos matemáticos para a solução de uma condição proposta. Devido à restrição no processamento dessas equações, o MEF teve uma evolução lenta, porém com o surgimento, em 1950, da tecnologia computacional, essa prática permitiu que as equações mais complexas fossem resolvidas (LOTTI et al., 2006). Desde então, o MEF foi inserido em diversas áreas da engenharia, medicina, odontologia etc. (LOTTI et al., 2006). Na odontologia, as áreas mais comumente analisadas são a ortodontia e implantodontia. Também foi utilizada pela primeira vez por Thresher e Saito para analisar tensões em dentes humanos (ZHANG et al., 2015).

O MEF utiliza qualquer modelo físico que representa uma circunstância e o fragmenta em um grupo específico de "elementos" menores de medidas "finitas". Uma vez que esses elementos finitos menores são associados, eles constituem uma malha da estrutura estudada, onde cada elemento consegue assumir uma formação geométrica própria. Reunindo a geometria real do elemento e suas propriedades estruturais, podemos determinar relações de equilíbrio entre as forças externas e os deslocamentos que resultam em seus pontos de canto ("nós"). Essas equações são mais devidamente escritas em meio de matriz para aplicação em um algoritmo de computador (CHOI et al., 2014). De forma simplificada, o MEF possui a capacidade de modelar matematicamente estruturas, tornando-se possível a aplicação de forças em qualquer ponto e/ou direção. Dessa forma, conseguem-se dados sobre o deslocamento e o grau de tensão (LOTTI et al., 2006).

No geral, o MEF é uma ferramenta apropriada para o uso na Cirurgia e Traumatologia Buco-Maxilo-Faciais, pois é capaz de determinar a medida do estresse, deformação e deslocamento no complexo ósseo e fibromucosa, após diversas maneiras de aplicação de carga (OLMEZ et al., 2014). Esse método é eficaz para determinar dados mecânicos de biomateriais e tecidos humanos, que dificilmente poderiam ser avaliados *in vivo* (SILVA et al., 2009).

Visto que não há na literatura estudos avaliando o deslocamento dos segmentos e a distribuição do estresse em diferentes tipos de osteotomias segmentares da maxila, e a

impossibilidade de reproduzir essa simulação *in vivo*, esse estudo tem como objetivo, avaliar o efeito da força aplicada no ato operatório sobre o deslocamento ósseo e a tensão na fibromucosa, em diferentes desenhos de segmentação de maxila, através da análise de elementos finitos.

## ARTIGO

### **Artigo Original: Avaliação das tensões teciduais nas osteotomias segmentares da maxila por meio da análise de elementos finitos**

#### **Título Curto: Avaliação das osteotomias segmentares da maxila por meio da análise de elementos finitos**

Ricardo Sommerfeld, DDS <sup>1</sup>; Rafaela Scariot, DDS, MSc, PhD <sup>2</sup>; Delson João da Costa, DDS, MSc, PhD <sup>3</sup>.

*<sup>1</sup>Departamento de Estomatologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil, ricardosommerfeld@gmail.com; <sup>2</sup>Departamento de Estomatologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil, rafaela\_scariot@yahoo.com.br.; <sup>3</sup>Departamento de Estomatologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil, delsoncosta@ufpr.br.*

\*Endereço do autor: Departamento de Estomatologia, Universidade Federal do Paraná, Av. Prefeito Lothário Meissner 632, Jardim Botânico, Curitiba/PR, Brasil, CEP 80210-170. E-mail: ricardosommerfeld@gmail.com.

**Palavras-chave:** osteotomia segmentar, osteotomia interdental, deslocamento ósseo, tensão na fibromucosa, elementos finitos.

## RESUMO

A segmentação da maxila associada a osteotomia de Le Fort I é uma técnica cirúrgica utilizada para correção de discrepâncias transversais de maxila. Mesmo com os avanços ao longo dos anos, ainda existem complicações decorrentes da intervenção cirúrgica, entre elas a manutenção do aporte sanguíneo e a tensão excessiva da fibromucosa palatina. Sendo assim o objetivo desse estudo foi analisar o efeito da força aplicada no ato operatório sobre o deslocamento ósseo e a tensão na fibromucosa em diferentes desenhos de segmentação de maxila, através da análise de elementos finitos. Um crânio tridimensional foi gerado a partir de imagens tomográficas. Foram trabalhados com 04 modelos, sendo dois deles dividindo a maxila em três segmentos, um com osteotomia entre incisivo lateral e canino e o outro entre canino e primeiro pré-molar. E dois deles dividindo a maxila em quatro segmentos, com as mesmas osteotomias anteriormente citadas. Foi aplicada uma força de 100 newtons na face palatina dos dentes 16 e 26. Quando comparamos a técnica entre 3 e 4 segmentos com a mesma osteotomia interdental, evidenciamos um maior deslocamento ósseo e menor tensão na fibromucosa na técnica com 3 segmentos. Quando contrastamos a mesma quantidade de segmentos com regiões distintas de osteotomia interdental, verificamos uma menor tensão na fibromucosa e um maior deslocamento ósseo nos cortes entre incisivo lateral e canino. Portanto a técnica com 3 segmentos com osteotomia interdental entre incisivo lateral e canino, mostrou-se com menor resistência possibilitando maior deslocamento e consequentemente gerando menos tensão na mucosa.

## INTRODUÇÃO

A segmentação da maxila associada a osteotomia de Le Fort I é uma técnica cirúrgica utilizada para correção de discrepâncias transversais de maxila em adultos (STARCH-JENSEN, BLAEHR, 2016). Ela é indicada em casos de mordida aberta anterior, deficiência transversal da maxila, mordida cruzada e deformidades mais severas, na qual a intervenção segmentar possibilita a correção assimétrica intra-arco, podendo manipular os segmentos separadamente, em um único ato cirúrgico (KAHNBERG, HAGBERG, 2007), obtendo assim, um bom resultado no controle da curva de Spee e de Wilson (ESTEVES et al., 2016).

Existem diversos desenhos de osteotomias segmentares. Dois fatores relacionados ao desenho da osteotomia segmentar devem ser levados em consideração na escolha da melhor técnica: a localização da osteotomia interdentária e o desenho da osteotomia no palato. A osteotomia interdental para separação da maxila em segmentos pode ser realizada entre incisivos laterais e caninos, caninos e pré-molares ou entre incisivos centrais (ESTEVES et al., 2016). A segmentação entre incisivos laterais e caninos tem uma maior preferência, pois quando se segmenta nessa região, não é necessário para o ortodontista criar espaços nos locais planejados para a osteotomia, já que as raízes são naturalmente divergentes entre si. As vantagens de realizar as osteotomias nesse local é de prevenir sequelas periodontais e a capacidade de influenciar positivamente a inclinação do incisivo, sem afetar a altura vertical da face (POSNICK, 2013). A secção entre caninos e primeiros pré-molares raramente é planejado, pois é tecnicamente mais demorada no tratamento ortodôntico, e é mais propenso a ter lesões dentárias e defeitos periodontais.

No que se refere ao desenho da osteotomia no palato, dois são os principais desenhos: formato de Y e formato de H. Na segmentação em forma de Y, ou seja, 3 segmentos, é realizada uma osteotomia mediana sagital, onde a extremidade anterior é estendida com as osteotomias interdentais verticais. Já no formato em H, as osteotomias são feitas em ambos os lados da linha média, paralela à sutura palatina mediana, com um corte radial para atender as osteotomias interdentais. (KAHNBERG, HAGBERG, 2007 e HO et al., 2011). A técnica em Y de 3 segmentos, quando comparada a técnica em H, tem a vantagem de apresentar uma menor chance de necrose óssea, por ter menos fragmentos, e na teoria, a desvantagem de possuir um menor grau de mobilização. Já o formato em H, teoricamente, distribui a tensão em mais regiões, melhorando a distribuição do estresse, e tem a desvantagem de resultar em mais segmentos, o que torna mais difícil o manejo durante a cirurgia e um aumento da probabilidade de necrose óssea (CORTESE, 2014).

Mesmo com os avanços ao longo dos anos, ainda existem complicações decorrentes da intervenção cirúrgica, como a necrose óssea, comunicação buconasal e bucosinusal, necrose pulpar e defeitos periodontais (ESTEVES et al., 2016). Dentre os principais problemas

relacionados as segmentações maxilares está a manutenção do aporte sanguíneo e a tensão excessiva da fibromucosa palatina no movimento transversal. (CORTESE, 2014).

O método de elementos finitos (MEF), se baseia na divisão de qualquer estrutura, em pequenos elementos de medidas finitas, formando uma malha. A malha é composta por arestas (faces) e nós (pontos de intersecção entre as arestas). Aplicando-se uma carga em qualquer ponto da estrutura analisada, uma função é estabelecida em cada elemento, cuja a soma produz um resultado sobre toda a malha, obtendo-se assim, dados sobre o deslocamento e tensão inicial (TRENTO et al., 2016). O MEF é uma ferramenta apropriada para o uso na Cirurgia e Traumatologia Buco-Maxilo-Faciais, pois é capaz de determinar a medida do estresse, deformação e deslocamento no complexo ósseo e fibromucosa, após diversas maneiras de aplicação de carga (OLMEZ et al., 2014), conseguindo Visto que não há na literatura estudos avaliando o deslocamento dos segmentos e a distribuição do estresse em diferentes tipos de osteotomias segmentares da maxila, esse estudo tem como objetivo avaliar, o efeito da força aplicada no ato operatório sobre o deslocamento ósseo e a tensão na fibromucosa em diferentes desenhos de segmentação de maxila por meio da análise de elementos finitos.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

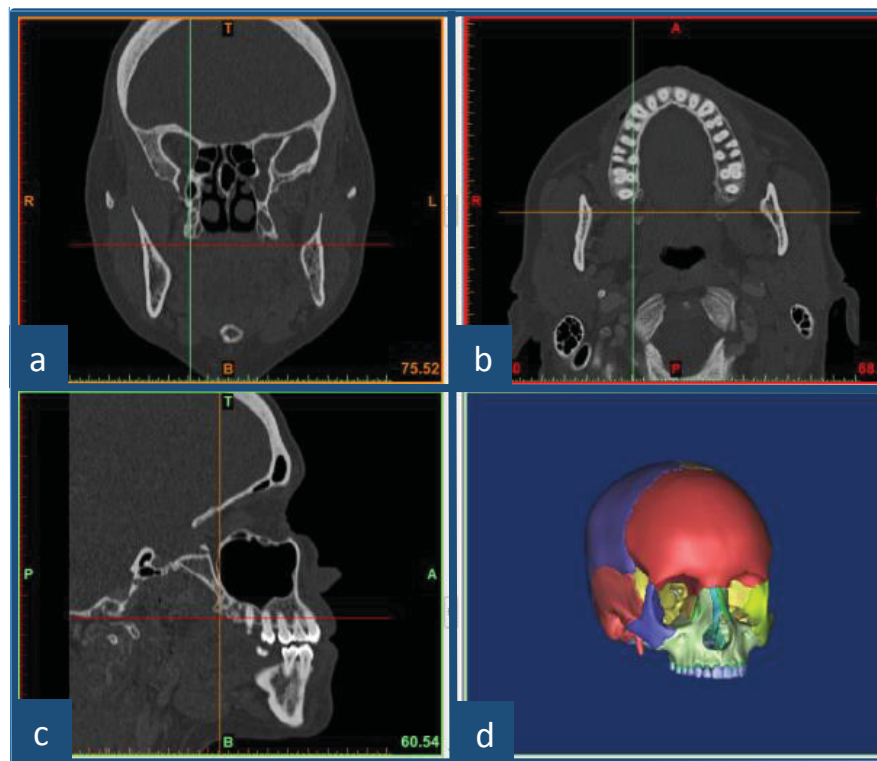
Inicialmente foi modelado um sólido geométrico, neste caso um crânio, que foi obtido através de imagens tomográficas a partir da tomografia computadorizada e manipuladas no software *Invesalius 3.1 (CC-GPL 2 – Brasil)*. Em seguida os arquivos foram exportados para o programa *Ansys Student 2019 R2 (NASDAQ: ANSS - Estados Unidos)*, que realizou a simulação propriamente dita.

### *Geração do Modelo*

O modelo tridimensional, foi obtido a partir de imagens tomográficas de um crânio, disponibilizadas no banco de imagens do programa de reconstrução *Invesalius 3.1*, ilustrado na figura 1.



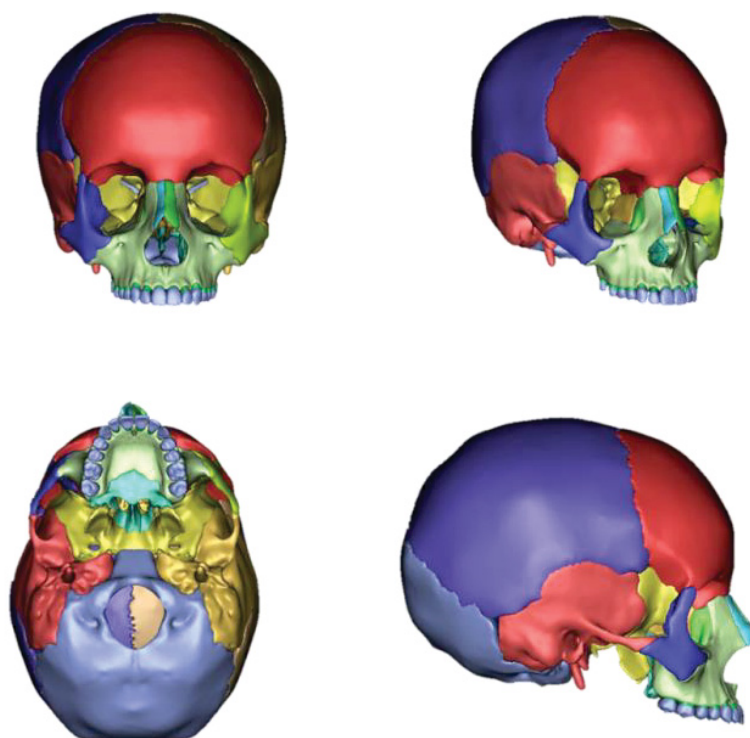
Figura 1: Tomografia utilizada na simulação.



a) Corte coronal; b) corte axial; c) corte sagital; d) modelo tridimensional.

As estruturas anatômicas foram divididas em: osso cortical, osso medular, esmalte, dentina, ligamento periodontal e mucosa, sendo consideradas com um comportamento isotrópico, homogêneo e linear elástico (STRINGHINI et al., 2016), com coeficiente de Poisson e módulo de Young citados na tabela 1. Os ossos foram segmentados em: maxila, mandíbula, zigomático direito e esquerdo, palatino, nasal direito e esquerdo, frontal, temporal direito e esquerdo, parietal direito e esquerdo, occipital, esfenóide, etmoide, vómer e lacrimal. Quanto mais estruturas forem modeladas, mais precisos serão os resultados, entretanto a aquisição do modelo será mais complexa e análise dos resultados mais difícil, exemplificado na figura 2.

Figura 2: Crânio tridimensional segmentado.



Crânio tridimensional em diversos ângulos.

A espessura da mucosa palatina foi estabelecida segundo o estudo feito por BARRIVIEIRA et al., 2009, no qual adotou-se as espessuras de, 2,92mm na região dos caninos, 3,11mm no primeiro pré-molar, 3,28mm no segundo pré-molar, 2,89mm no primeiro molar e 3,15mm no segundo molar. Já a espessura gengival, de 1,21mm, foi gerada pela média aritmética das espessuras relatadas por (ZEWEERS et al., 2014).

Tabela 1. Propriedade dos Materiais.

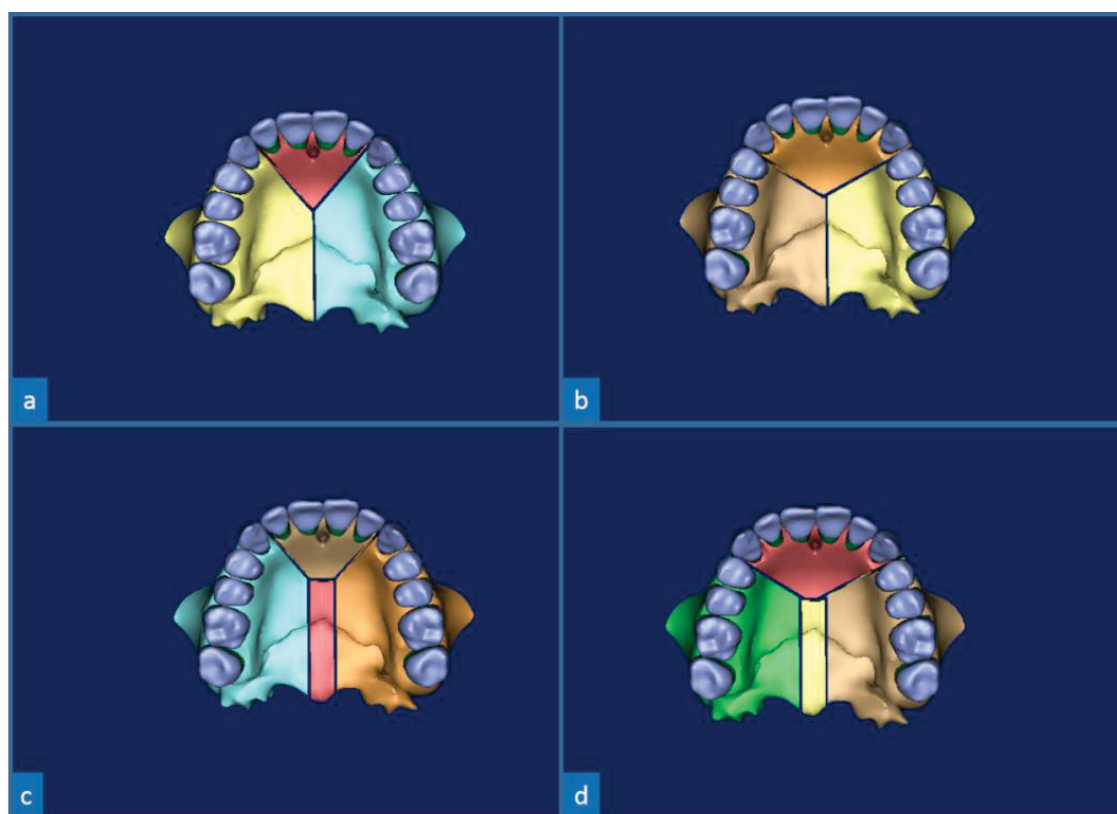
Material	Módulo de Young (MPa)	Coefficiente de Poisson
Osso Cortical	13800	0,26
Osso Trabecular	345	0,38
Ligamento Periodontal	0,87	0,35
Dentina	18600	0,31
Esmalte	84100	0,2
Mucosa	1,8	0,3

Fonte: (PACHECO et al., 2016 e POBLETE et al., 2012).

No Crânio foram realizados quatro desenhos de osteotomias segmentares, sendo essas as mais utilizadas na literatura. No modelo 1 (M1), foram realizadas a osteotomia Le Fort I e interdental entre incisivo lateral e canino, dividindo a maxila em 3 segmentos, ilustrado na figura 3a. No modelo 2 (M2), foram realizadas a osteotomia Le Fort I, e interdental entre canino e

primeiro pré-molar, dividindo a maxila em 3 segmentos, como mostra a figura 3b. O modelo 3 (M3), compõe uma osteotomia Le Fort I, interdental entre incisivo lateral e canino e duas osteotomias paralelas, com uma distância de 5mm para cada lado, à sutura palatina mediana, de forma que a maxila fique dividida em 4 segmentos, exemplificado na figura 3c. E por fim, no modelo 4 (M4), foi realizada uma osteotomia Le Fort I, interdental entre canino e primeiro pré-molar e duas osteotomias paralelas, com uma distância de 5mm para cada lado, à sutura palatina mediana, de forma que a maxila fique dividida em 4 segmentos, demonstrado na figura 3d.

Figura 3: Formato das osteotomias analisadas no estudo.

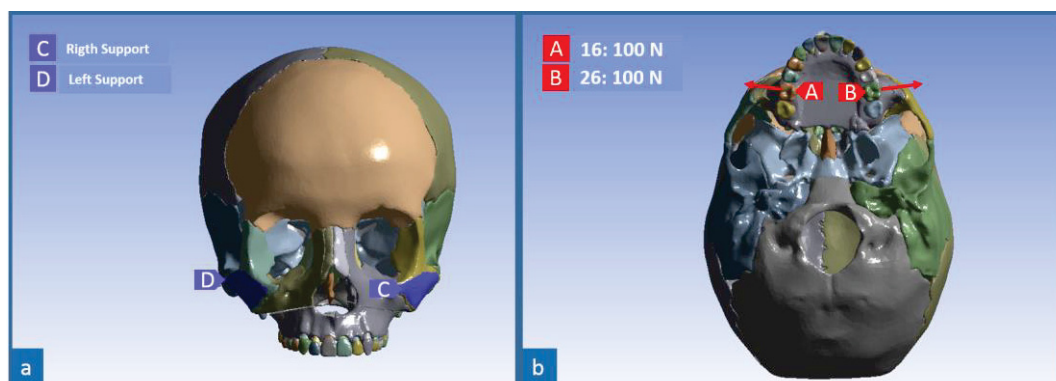


a) M1; b) M2; c) M3; d) M4.

### Simulação

Na última fase, todos os dados foram importados para o programa *Ansys Student 2019 R2* (NASDAQ: ANSS - Estados Unidos), no qual uma força de 100 newtons (N) foi aplicada na face palatina dos dentes 16 e 26, simulando um afastamento digital no ato operatório, ilustrado na figura 4b. Os dados desta força foram obtidos a partir de simulações realizadas até chegar no afastamento ósseo de 5mm, sendo esta medida limítrofe, sugerida pela literatura para não desenvolver lacerações na linha média (RAMEIRO et al., 2014). O suporte foi inserido na face lateral do osso zigomático direito e esquerdo, reproduzindo a fixação da face, permanecendo estática, exemplificado na figura 4a.

Figura 4: Localização da aplicação da força e suporte.



a) suporte no osso zigomático; b) aplicação da força nos dentes 16 e 26.

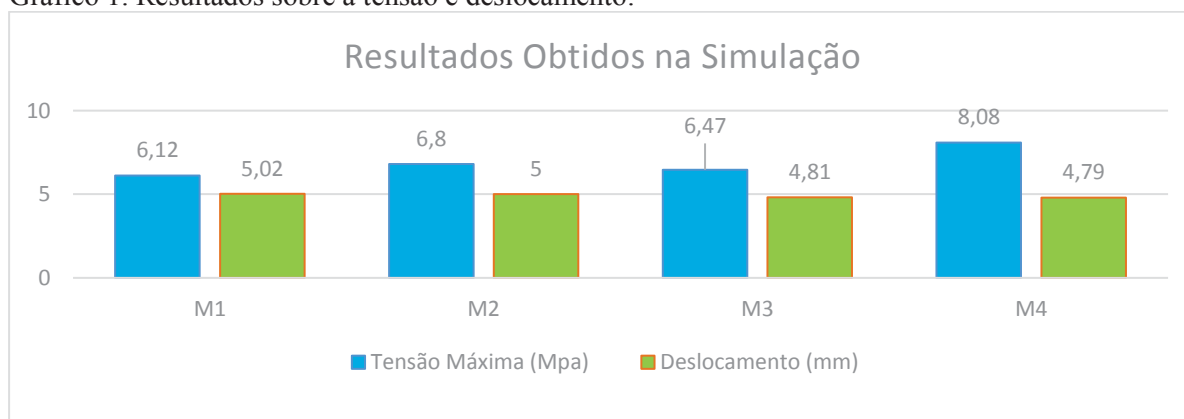
Nesta análise, foi constituída uma malha tridimensional tetraédrica com 1.261.150 elementos e 2.231.990 nós, gerada automaticamente pelo programa *Ansys Student 2019 R2* (NASDAQ: ANSS - Estados Unidos).

O computador usado possui um processador Intel Core I5 – 2.80Ghz, sistema operacional de 64 Bits, com 8,00 GB de memória RAM. Cada simulação durou aproximadamente 3 horas.

## RESULTADOS

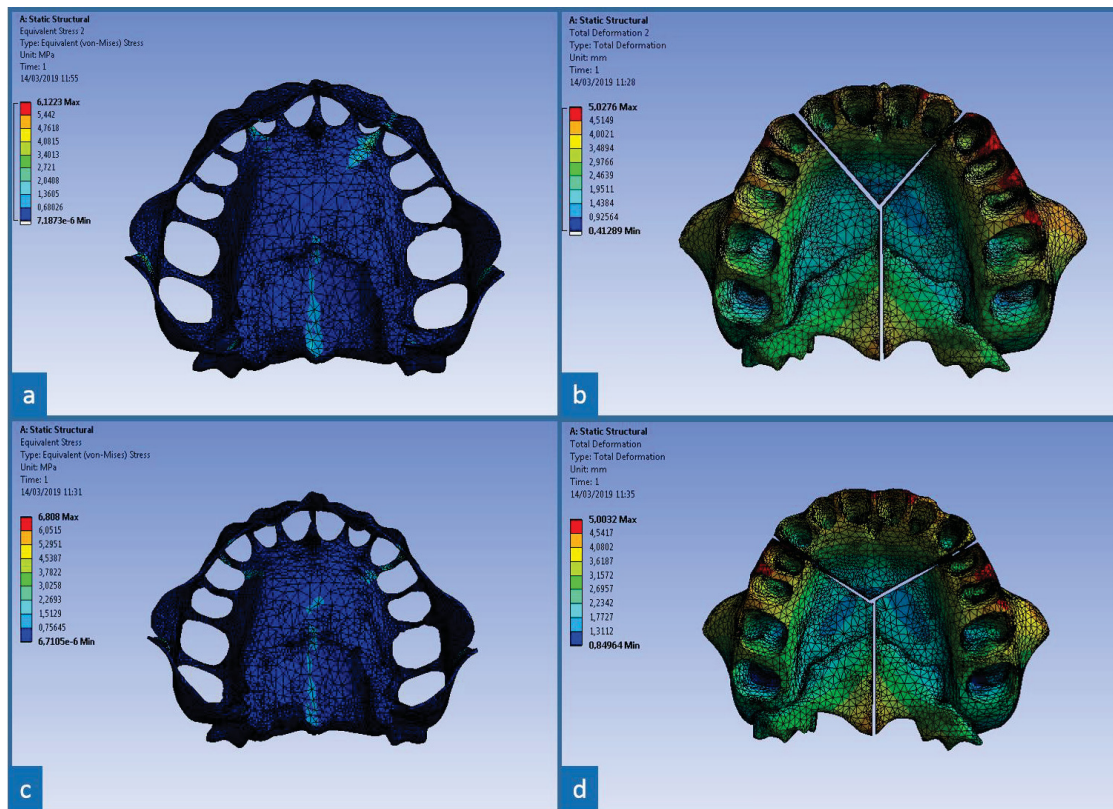
Os dados encontrados são precisos e foram analisados e visualizados em escalas de cores, onde cada cor representa um grau de deformação ou tensão, indo da cor azul com menor tensão e/ou deslocamento até a cor vermelha, representando o pico máximo de ambas as unidades de medida. Os resultados foram obtidos pela distribuição de von misses, na unidade de medida (UI) megapascal (Mpa), e em milímetros (mm) correspondente ao deslocamento. No gráfico abaixo, são observados os resultados obtidos na simulação, sendo que na cor azul corresponde a tensão em Mpa e a cor verde o deslocamento ósseo em mm.

Gráfico 1. Resultados sobre a tensão e deslocamento.



Quando comparado somente as técnicas de 3 segmentos, M1 e M2, as osteotomias interdentais entre incisivo lateral e canino apresentaram uma menor tensão na fibromucosa e maior deslocamento de seus remanescentes ósseos, em relação as osteotomias entre canino e primeiro pré-molar como pode ser observado na figura 5.

Figura 5: Comparação dos resultados entre as técnicas M1 e M2.

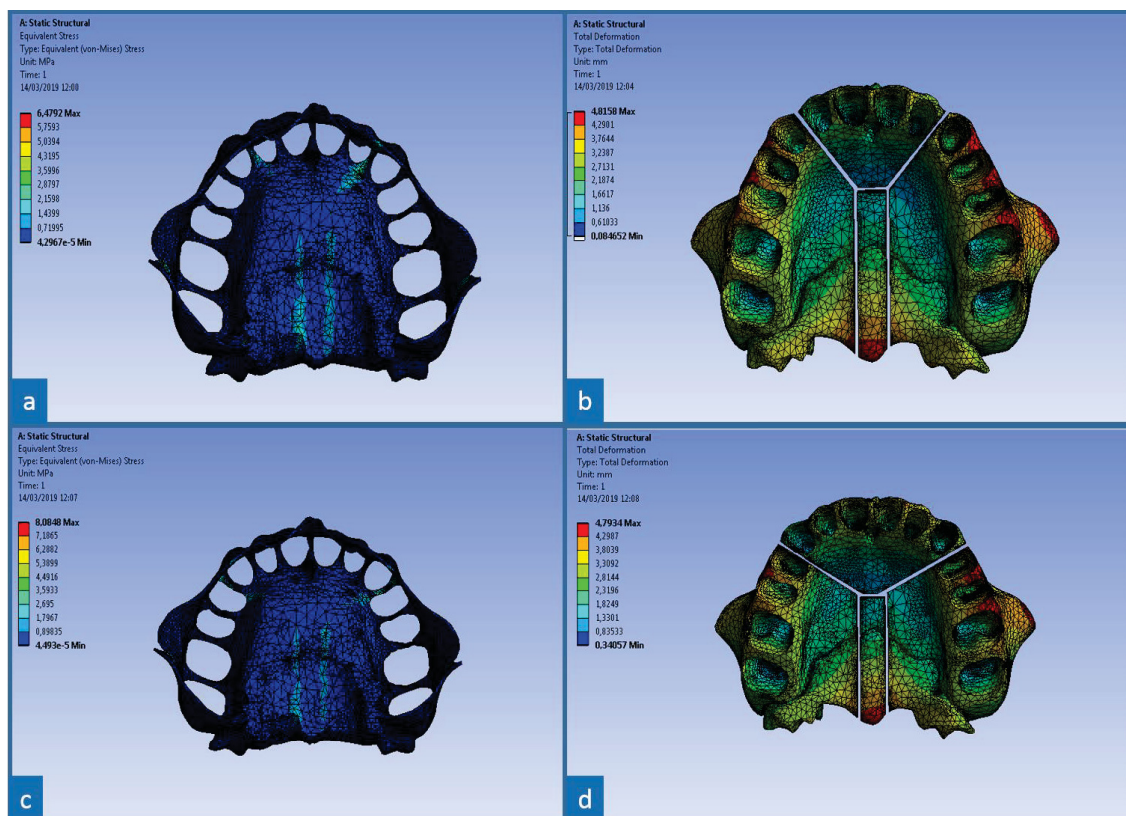


a) tensão na fibromucosa do modelo M1; b) deslocamento ósseo no modelo M1; c) tensão na fibromucosa do modelo M2; d) deslocamento ósseo no modelo M2.



Comparando somente as técnicas com 4 segmentos, M3 e M4, as osteotomias interdentais entre incisivo lateral e canino apresentaram uma menor tensão na fibromucosa e maior deslocamento de seus remanescentes ósseos, em relação as osteotomias entre canino e primeiro pré-molar como pode ser observado na figura 6.

Figura 6: Comparação dos resultados entre as técnicas M3 e M4.

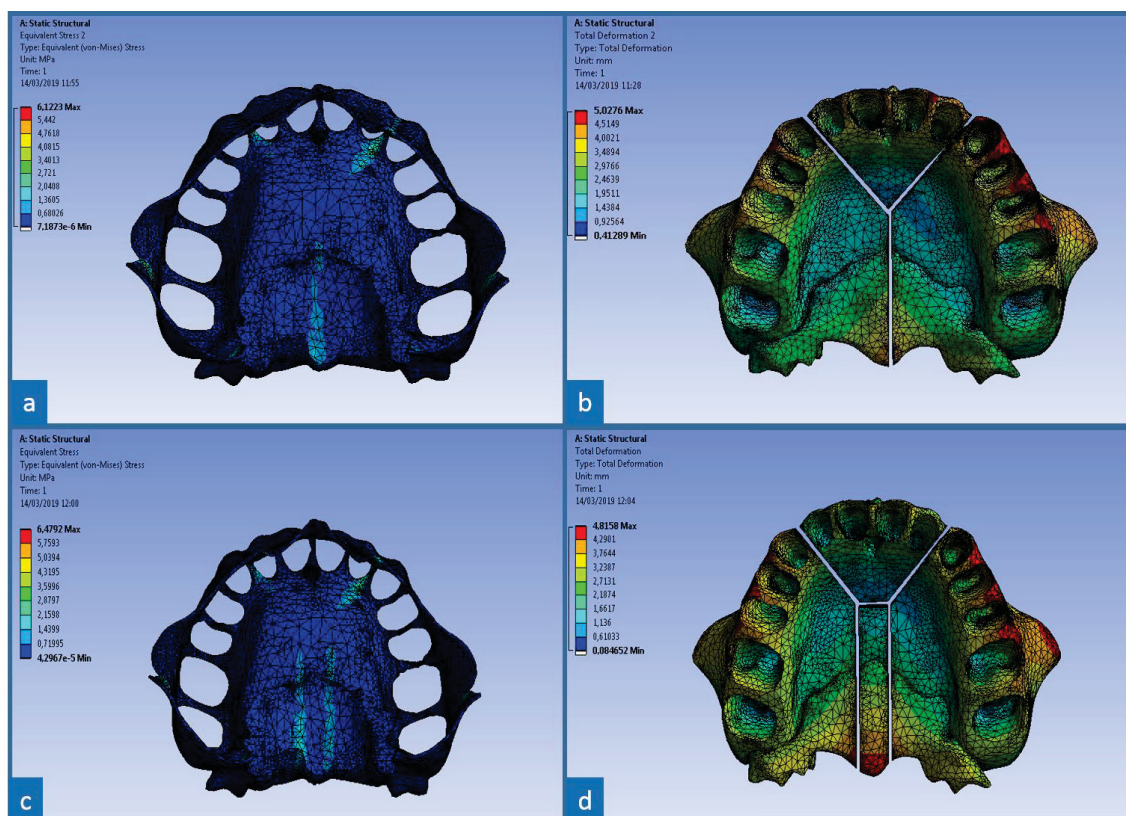


a) tensão na fibromucosa do modelo M3; b) deslocamento ósseo do modelo M3; c) tensão na fibromucosa do modelo M4; d) deslocamento ósseo no modelo M4.



Agora comparando a mesma osteotomia interdental entre incisivo lateral e canino, nas técnicas entre 3 e 4 fragmentos, M1 e M3, os remanescentes ósseos com 3 segmentos apresentaram uma tensão menor na fibromucosa e um maior deslocamento ósseo, observado na figura 7.

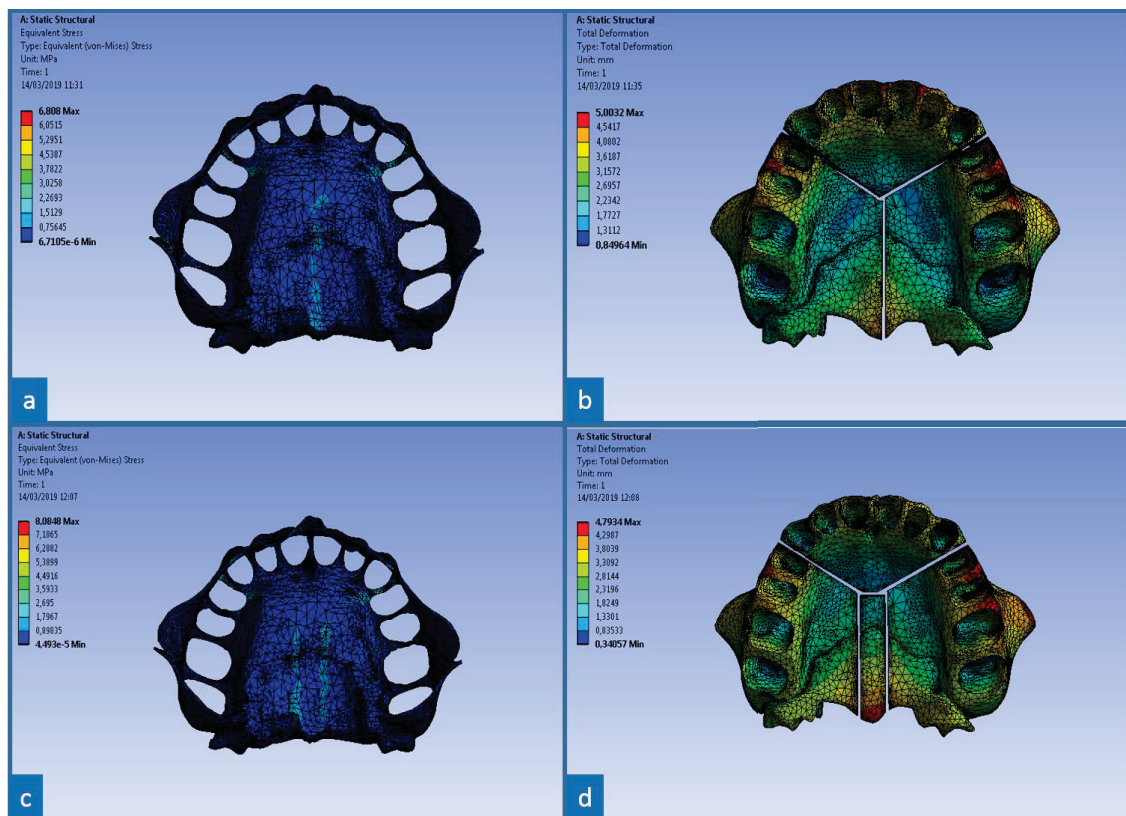
Figura 7: Comparação dos resultados entre as técnicas M1 e M3.



a) tensão na fibromucosa do modelo M1; b) deslocamento ósseo no modelo M1; c) tensão na fibromucosa do modelo M3; d) deslocamento ósseo no modelo M3.

Quando comparado a mesma osteotomia interdental, entre canino e primeiro pré-molar, com 3 e 4 fragmentos, M2 e M4, a técnica com 3 segmentos apresentou menos tensão na fibromucosa e maior afastamento ósseo, exemplificado na figura 8.

Figura 8: Comparação dos resultados entre as técnicas M2 e M4.



a) tensão na fibromucosa do modelo M2; b) deslocamento ósseo no modelo M2; c) tensão na fibromucosa do modelo M4; d) deslocamento ósseo no modelo M4.

## DISCUSSÃO

No presente estudo, foi observado um maior deslocamento ósseo e menor tensão na fibromucosa nas técnicas M1 e M2, de 3 segmentos, quando comparado as técnicas M3 e M4, de 4 segmentos, isso em ambos os tipos de osteotomias interdentárias, ou seja, entre incisivo lateral e canino e entre canino e primeiro pré-molar. Também houve uma menor tensão na fibromucosa e um maior deslocamento ósseo comparando os cortes entre incisivo lateral e canino, tanto nas técnicas de 3 e 4 segmentos, isto é, M1 e M3 comparado as técnicas M2 e M4 respectivamente. Na mucosa, a região de maior tensão está localizada nas linhas de osteotomia, onde os fragmentos são separados, sendo que o pico máximo está localizado nas papilas interdentais de cada linha da

secção desenhada e na mucosa inserida da maxila. Essa tendência foi observada em todas as simulações (M1, M2, M3 e M4).

Alguns autores afirmam que a quantidade de fragmentos está associada a uma redução da tensão gerando uma melhor distribuição da mesma. LANDES et al., 2012, citaram que teoricamente, a maxila com 3 segmentos teria uma resistência menor dos tecidos comparado a osteotomia com 2 fragmentos, resultando em maior grau de mobilização dos segmentos ósseos, reduzindo as forças no periodonto. Já CORTESE, em 2012, enfatizou que na teoria, a segmentação com 2 fragmentos apresenta o risco de necrose devido à alta tensão na fibromucosa, pois está associada a baixos limites de expansão palatina, e que na segmentação com 3 e 4 porções, a tensão da mucosa é distribuída em múltiplas regiões. Seguindo o raciocínio de LANDES et al., 2012 e de CORTESE 2012, podemos dizer que a maxila com 4 segmentos traria então, uma menor resistência dos tecidos comparado a de 3 segmentos. No nosso estudo verificou-se o contrário, sendo que a técnica com 3 segmentos teve uma tensão menor na fibromucosa e um maior deslocamento ósseo comparado a de 4 segmentos. Portanto, neste trabalho, foi evidenciado que realizar mais osteotomias não criam uma menor resistência gerando um deslocamento maior, assim como 4 segmentos também não geram menos tensão na fibromucosa, com a liberação de mais áreas de contato. Uma explicação plausível para esse achado é a de que a fibromucosa na região da sutura palatina mediana é mais delgada, e a medida em que vai se afastando da linha média, aumenta em espessura, fazendo com que a osteotomia em Y, realizada na sutura mediana, seja mais flexível e conseqüentemente desenvolva uma resistência menor no afastamento dos segmentos.

Realizar osteotomias interdentais entre incisivos laterais e caninos tem a preferência dos cirurgiões por diversos motivos, como a visão cirúrgica e facilidade de acesso, osso alveolar mais fino (NAINI, GILL, 2017), não é necessário criar espaços nos locais planejados para a osteotomia, já que as raízes são naturalmente divergentes entre si, menor probabilidade de ter lesões dentárias e defeitos periodontais (POSNICK, 2013). Mecanicamente, este estudo também encontrou maiores benefícios desta técnica em relação a osteotomia realizada entre caninos e pré-molares, apresentando uma menor tensão na fibromucosa e maior deslocamento dos fragmentos. Uma justificativa provável para esse resultado, pode ser pelo fato do osso ser mais fino nesta região, resultando em um menor atrito ósseo, gerando menos resistência dos segmentos. Outro fator que podemos considerar é a espessura da fibromucosa, já que a mesma é mais fina na região do canino, obtendo uma maior elasticidade quando comparado a uma fibromucosa mais espessa encontrada na região do primeiro pré-molar.

Devido à complexidade da realização deste trabalho, foi possível realizar apenas a simulação de um caso, com uma única tomografia computadorizada e com um específico fenótipo ósseo e fibromucoso, tornando-se uma das limitações deste estudo. Sendo assim, há necessidade de avaliar os mesmos fatores de deslocamento e tensão em diferentes modelos. Além disso

pesquisas nessa área ainda são restritas, especialmente na avaliação da tensão nas osteotomias segmentares da maxila. Sendo assim é muito importante o desenvolvimento de mais trabalhos nessa linha para complementar e até mesmo autenticar a veracidade destes resultados.

## CONCLUSÃO

A região de maior tensão na fibromucosa, está localizada nas linhas de osteotomia de cada linha da secção desenhada. Os quatro modelos avaliados, o modelo M1, com 3 segmentos e com a osteotomia interdental sendo feita entre incisivos laterais e caninos, mostrou-se a técnica mais indicada, pois possibilita um maior deslocamento ósseo com menos tensão na fibromucosa.

O estudo se mostrou aplicável na obtenção de dados sobre o deslocamento e tensão em diferentes osteotomias segmentares da maxila, obtendo resultados de uma simulação cirúrgica, ainda inexplorada no âmbito da análise por elementos finitos.

## REFERÊNCIAS

1. BARRIVIEIRA, M. DUARTE, W. R., JANUÁRIO, A. L., FABER, J., BEZERRA, A. C. B. A new method to access and measure palatal masticatory mucosa by cone beam computerized tomography. *J. Clin Periodontol*, v. 36, n. 7, p. 564-568, junho 2009.
2. CHOI, A. H., CONWAY, R. C., BEN-NISSAN, B. Finite-element modeling and analysis in nanomedicine and dentistry. *Nanomedicine (Lond)*, v. 9, n. 11, p. 1681-95, Aug 2014.
3. CORTESE, A. Le Fort I Osteotomy for Maxillary Repositioning and Distraction Techniques. *The Role of Osteotomy in the Correction of Congenital and Acquired Disorders of the Skeleton*, n. 2, p. 23-58, Abril 2012.
4. ESTEVES, L. S., SANTOS, J. N., SULLIVAN, S. M., MARTINS, L. M., ÁVILA, C. Why segment the maxilla between laterals and canines? *Dental Press J Orthod*, v. 21, n. 1, p. 110-25, 2016 Jan-Feb 2016.
5. HO, M. W., BOYLE, M. A., COOPER, J. C., DODD, M. D., RICHARDSON, D. Surgical complications of segmental Le Fort I osteotomy. *Br J Oral Maxillofac Surg*, v. 49, n. 7, p. 562-6, Oct 2011.
6. KAHNBERG, K. E.; HAGBERG, C. The approach to dentofacial skeletal deformities using a multisegmentation technique. *Clin Plast Surg*, v. 34, n. 3, p. 477-84, Jul 2007.
7. KASHANI, H., RASMUSSEN, L. Osteotomies in Orthognathic Surgery. *A Textbook of Advanced Oral and Maxillofacial Surgery*, v. 3, n. 27, p. 617-649, Agosto 2016.
8. LANDES, C. A., LAUDEMANN, K., PETRUCHIN, O., REVILLA, C., SEITZ, O., KOPP, S., LUDWIG, B., SADER, R. A. Advantages and limits of 3-segment (paramedian) versus 2-segment (median) surgically assisted rapid maxillary expansion (SARME). *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*, v. 113, n. 1, p. 29-40, Jan 2012.
9. LOTTI R. S., MACHADO, A. W., MAZZIEIRO, E. T., JÚNIOR, J. L. Aplicabilidade científica do método de elementos finitos. *Revista Dental Press Ortodon Ortop. Facial*, Maringá, v. 11, n.2, p. 35-43, mar./abril 2006.
10. NAINI, F. B., GILL, D. S. *Orthognathic Surgery: Principles, Planning and Practice*. 1. ed. Ames: Wiley-Blackwell, 2017, 483 p.
11. OLMEZ, S., DOGAN, S., PEKEDIS, M., YLDIZ, H. Biomechanical evaluation of sagittal maxillary internal distraction osteogenesis in unilateral cleft lip and palate patient and noncleft patients: a three-dimensional finite element analysis. *Angle Orthod*, v. 84, n. 5, p. 815-24, Sep 2014.
12. PACHECO, A. A., SAGA, A. Y., DE LIMA, K. F., PAESE, V. N., TANAKA, O. M. Stress Distribution Evaluation of the Periodontal Ligament in the Maxillary Canine for Retraction by Different Alveolar Corticotomy Techniques: A Three-dimensional Finite Element Analysis. *J Contemp Dent Pract*, v. 17, n. 1, p. 32-7, Jan 2016.
13. POBLETE, F. A. O., NORITOMI, P. Y., COTO, N. P., ALMEIDA, A. S., NACLÉRIO-HOMEM, M. G. Análise por meio do método dos elementos finitos de um protetor bucal para atividades esportivas. *RPG Rev Pós Grad*, V. 19, N. 4, P. 159-64, maio 2012.



14. POSNICK, J. C. Principles and Practice of Orthognathic Surgery. 1. ed. St. Louis: Elsevier Health Sciences, 2013, 762 p.
15. RAMEIRO, A., C., F., PAIVA, L., C., A., NOGUEIRA, E., F., C., SAMPAIO, D., O., SOUZA, I., C., TORRES, B., C., A. Alterações transversais da maxila: avaliação da estabilidade dos tratamentos cirúrgicos e ortopédicos. Brazilian Journal of Surgery and Clinical Research, vol.7, n.1, p.18-22, Jun – Ago 2014.
16. SILVA, B., R., JÚNIOR, F. I. S., NETO, J. J. S. M., AGUIAR, A. S. W. Aplicação do Método de Elementos Finitos em Odontologia: análise das publicações científicas de 1999 a 2008. Int J Dent, V. 8, N 4, P. 197-201, out./dez.,2009.
17. STARCH-JENSEN, T.; BLAEHR, T. L. Transverse Expansion and Stability after Segmental Le Fort I Osteotomy versus Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion: a Systematic Review. J Oral Maxillofac Res, v. 7, n. 4, p. e1, 2016 Oct-Dec 2016.
18. STRINGHINI, D. J., SOMMERFELD R., UETANABARO, L. C., LEONARDI, D. P., ARAÚJO, M. R., REBELLATO N. L. B., COSTA, D. J., SCARIOT, R. Resistance and Stress Finite Element Analysis of Different Types of Fixation for Mandibular Orthognathic Surgery. Brazilian Dental Journal, v. 27, n.3, p.284-291, May/June 2016.
19. TRENTO, G. S., SOMMERFELD, R., ONUKI, L. T., STRINGHINI, D. J., REBELLATO, N. L. B., COSTA, D. J. Análise por Elementos Finitos das Forças Mastigatórias em uma Placa de Reconstrução Mandibular. Brazilian Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, v.16, n.1, p. 13-17, jan/mar 2016.
20. ZHANG, D., ZHENG, L., WANG, Q., LU, L., MA, J. Displacements prediction from 3D finite element model of maxillary protraction with and without rapid maxillary expansion in a patient with unilateral cleft palate and alveolus. Biomed Eng Online, v. 14, p. 80, Aug 2015.
21. ZWEERS, J., THOMAS, R. Z., SLOT, D. E., WEISGOLD, A. S., VAN DER WEIJDEN, F. G. Characteristics of periodontal biotype, its dimensions, associations and prevalence: a systematic review. J Clin Periodontol, v. 41, n. 10, p. 958-71, Oct 2014.